

вані поздовжніми стержнями, що не приварені в місцях обриву, і досягає при  $P=0,9P_{руйн.}$  до 45% діючого поперечного зусилля  $Q$ ;  
- одержані співвідношення  $Q_s/Q$  допоможуть виконувати розрахунки несучої здатності та тріщиностійкості непереармованих залізобетонних балок по похилому перерізу при різних рівнях навантаження.

1. Митрофанов В.П., Котлярова В.А. Общая теория расчета прочности железобетонных элементов по наклонным и нормальным трещинам // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1990. – №9. – С.3-9.

2. Котляров В.А. Прочность железобетонных элементов при совместном действии изгибающих моментов, продольных сжимающих и поперечных сил: Дис. ... канд. техн. наук. – Полтава, 1992. – 177 с.

3. Микитенко С.Н. Прочность изгибаемых железобетонных элементов с полным использованием сопротивления поперечной и высокопрочной арматуры: Дис. ... канд. техн. наук. – Полтава, 1995. – 168 с.

4. Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. – К.: Будівельник, 1989. – 104 с.

5. Митрофанов В.П. Напряженно-деформированное состояние, прочность и трещинообразование железобетонных элементов при поперечном изгибе: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – М.: ВЗИСИ, 1982. – 35 с.

Отримано 25.01.2000

© Овсій М.О., 2000

УДК 624.012.35:620.173/174

В.В.РІЗАК

Рівненський державний технічний університет

## ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З РОЗРАХУНКУ СТИСНУТО-ЗІГНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Викладається методика розрахунку стиснуто-зігнутих гнучких залізобетонних колон, пристосована до методики норм СНиП 2.01.03-84\*, що дозволяє вирішувати основні завдання проектування вказаних елементів, а також позацинтрово стиснутих стержнів з різними кінцевими умовами.

У [1] викладено методику розрахунку стиснуто-зігнутих елементів за деформованою схемою. Вона базується на ітераційному підході з великою кількістю складних математичних операцій, тому для практичного використання у повсякденних розрахунках є складною. На основі результатів експериментальних досліджень запропоновані доповнення до методики діючих норм. Вони дозволяють проводити розрахунок міцності стиснуто-зігнутих елементів при будь-якій схемі завантаження без залучення складного математичного апарату, а також розраховувати із задовільною точністю позацинтрово стиснуті стержні з різними кінцевими умовами. Оскільки рекомендації базуються на методиці норм, відзначимо

основні передумови останньої (гіпотези методу граничної рівноваги):

- розглядається рівновага найбільш навантаженого перерізу за довжиною стояка;
- напруження в стиснутому бетоні за висотою перерізу в момент руйнування приймаються постійними і чисельно рівними призмовій міцності бетону  $R_b$  з урахуванням умов роботи. Робота розтягнутого бетону не враховується;
- напруження в арматурі визначаються в залежності від висоти стиснутої зони бетону і приймаються в розтягнутій арматурі не більше розрахункового опору розтягу  $R_s$ , а для стиснутої арматури – відповідно не більше розрахункового опору стиску  $R_{sc}$ ;
- розрахунок гнучких стержнів проводиться за недеформованою схемою, а вплив прогину на ексцентриситет враховується за допомогою коефіцієнта  $\eta$ .

Зміст доповнень до норм полягає в наступному. Підвищення несучої здатності стиснуто-зігнутих елементів у порівнянні з позациентрово стиснутими стержнями пов'язане із зростанням умовної критичної сили в них. Тоді

$$N_{cr} = \kappa N_{cr, осн}, \quad (1)$$

де  $N_{cr, осн}$  – умовна критична сила в трактуванні норм;  $\kappa$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив схеми завантаження зразка на його міцність.

Обробка експериментальних даних показує, що значення коефіцієнта  $\kappa$  змінюється як у межах окремої серії колон, так і між колонами різних серій взагалі. Тобто на нього впливає і величина початкового ексцентриситету, і схема завантаження зразка. Область значень коефіцієнта  $\kappa$  для дослідних зразків коливається в межах від 1,14 до 6,4.

У нормах при визначенні прогину згинальних елементів вплив схеми завантаження враховують коефіцієнтом  $s$ . Тому як характеристику, що розмежовує між собою різні схеми завантаження стиснуто-зігнутих стержнів та позациентрово стиснутих елементів з однаковими ексцентриситетами на кінцях, пропонуємо використати формулу

$$\phi = \frac{s}{s_0}, \quad (2)$$

де  $s_0, s$  – коефіцієнт впливу розрахункової схеми і виду навантаження, обчислений відповідно для позacentрово стиснутого елемента з рівними і однаково направленими ексцентриситетами на кінцях та стиснуто-зігнутого елемента. Величина коефіцієнтів  $s$  для різноманітних схем завантаження визначається за таблицями, наведеними в посібниках до СНиП 2.03.01-84\*. Зрозуміло, що завжди  $s_0 = 1/8$ .

Якщо необхідно розрахувати елемент, завантажений за схемою, яка не відображена в довідковій літературі, коефіцієнт  $s$  можна знайти, розбивши складне згинаюче навантаження на декілька простих з подальшим обчисленням за виразом

$$s = \frac{\sum s_i M_i}{\sum M_i}, \quad (3)$$

де  $s_i, M_i$  – відповідно коефіцієнт  $s$  і найбільший згинаючий момент для кожної простої схеми завантаження.

У випадках, коли неможливо скористатися і формулою (3), коефіцієнт  $s$  знаходять з формули для обчислення прогину

$$f = \int_0^l \overline{M}_x \left( \frac{1}{\rho} \right)_x dx = sf \left( \frac{1}{\rho}, l_0 \right), \quad (4)$$

де  $\overline{M}_x$  – згинаючий момент у перерізі  $x$  від дії одиничної сили, прикладеної в напрямку невідомого переміщення в перерізі, прогин якого шукається;  $(1/\rho)_x$  – кривизна в перерізі  $x$ . Як правило, епюра початкових ексцентриситетів за довжиною стержня та епюра кривизни за формою аналогічні. Інтеграл у формулі (4) визначається множенням трикутної одиничної епюри моментів та епюри кривизн за довільним способом будівельної механіки.

Між поправочним коефіцієнтом  $k$  і характеристикою схеми завантаження  $\phi$  існує параболічний зв'язок. Ввівши до виразу для обчислення коефіцієнта  $k$  вплив ексцентриситету, отримаємо формулу

$$k = 1 + 2(4\delta + 1)(\phi - 1)^2. \quad (5)$$

Тоді скоригований вираз для визначення умовної критичної сили матиме вигляд

$$N_{cr} = k \frac{8E_b}{l_0^2} \left[ \frac{I}{\varphi_l} \left( \frac{0,11}{0,1 + \delta_e / \varphi_p} + 0,1 \right) + \alpha I_s \right]. \quad (6)$$

Усі інші формули для розрахунку стиснуто-зігнутих елементів такі самі, що і для позацентрово стиснутих стержнів з рівними й однаково направленими ексцентриситетами на кінцях (схема норм).

Розрахунок поперечного перерізу арматури стиснуто-зігнутих стержнів при будь-якій схемі завантаження слід виконувати в такій послідовності:

1. Із схеми розташування бокового навантаження та статичного розрахунку стержневої системи отримуємо значення стискаючих і згинаючих зусиль. На основі цих даних будуємо епюру ексцентриситетів за довжиною елемента як функцію відношення  $M(P)/N$ .

2. Для даної схеми завантаження з довідкової літератури чи вручну знаходимо коефіцієнт  $s$ , що враховує вплив розрахункової схеми елемента та характеру навантаження. Для основної схеми завантаження  $s_0 = 1/8$ . Обчислюємо значення поправочного коефіцієнта  $k$  до умовної критичної сили за формулою (5).

3. Задавшись коефіцієнтом армування, знаходимо значення умовної критичної сили  $N_{cr}$  за формулою (6), коефіцієнта поздовжнього згину  $\eta$  та розрахункового ексцентриситету в перерізі  $e$ .

4. Із системи рівнянь рівноваги зусиль в перерізі знаходимо необхідну площу поперечного перерізу арматури  $A_s$  та  $A_{sc}$ .

5. За обчисленим перерізом арматури визначаємо коефіцієнт армування і порівнюємо з попередньо прийнятим. Якщо він відрізняється від вихідного не більше ніж на 5%, розв'язок вважаємо закінченим, за більшої різниці переріз слід перерахувати, задавшись новим коефіцієнтом армування.

Перевірку несучої здатності стиснуто-зігнутого елемента виконуємо в тій же послідовності, окрім того, що система рівнянь рівноваги зусиль у перерізі розв'язується відносно зовнішнього навантаження  $N$ .

Розроблені доповнення були перевірені на власних експериментальних даних і дослідженнях інших авторів. До апробації було залучено шість стиснуто-зігнутих колон з експерименту Таля К.Э., Чистякова Е.А. [2], в яких згин створювався однією зосередженою силою, що прикладалася посередині колони. Результати обчислень наведені в табл.1, 2.

Таким чином, отримана методика дозволяє поширити основні положення розрахунку позацентрово стиснутих елементів з рівними й

однаково направленими ексцентриситетами на кінцях, викладені в нормах проектування, на розрахунок стиснуто-зігнутих колон.

Таблиця 1 – Порівняння теоретичної та експериментальної несучої здатності колон власного експерименту

Серія	Шифр колони	$N_{exp}$ , кН	$N_{theor}$ , кН	$N_{exp} - N_{theor}$ , кН	$\Delta$ , %
I	KI-2	177	193,8	-16,8	-9,5
	KI-5	120	119,8	0,2	0,1
	KI-10	70	71,5	-1,5	-2,1
II	KII-2	160	172,0	-12,0	-7,5
	KII-5	108	100,3	7,7	7,1
	KII-10	65	60,3	4,7	7,2
III	KIII-2	310	296,2	13,8	4,4
	KIII-5	190	170,9	19,1	10,0
	KIII-10	110	100,4	9,6	8,7
IV	KIV-2	195	190,7	4,3	2,2
	KIV-5	180	158,9	22,1	11,7
	KIV-10	100	80,9	19,1	19,1
V	KV-2	240	210,0	30,0	12,5
	KV-5	130,1	121,5	8,6	6,6
	KV-10	90	77,5	12,5	13,9
VI	KVI-2	137,3	153,1	13,6	-10,6
	KVI-5	87	87,7	-0,3	-0,8
	KVI-10	55,3	53,0	-1,0	4,1

Таблиця 2 – Порівняння теоретичної та експериментальної несучої здатності стиснуто-зігнутих колон за експериментальними даними [2]

Шифр колони	$N_{exp}$ , кН	$N_{theor}$ , кН	$N_{exp} - N_{theor}$ , кН	$\Delta$ , %
КГ XVI-2	400	409,6	-9,6	-2,4
КГ XVI-4	535	585,4	-49,6	-9,4
КГ XVIII-3	400	435,9	-35,9	-8,9
КГ XVIII-6	440	486,2	-46,2	-10,5
КГ XIX-2	560	609,0	-49,0	-8,6
КГ XIX-6	560	604,7	-44,7	-8,0

1. Бабич В. І., Різак В. В. Розрахунок стиснуто-зігнутих гнучких залізобетонних колон за короточасного навантаження // Вісн. РДТУ "Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво". – Рівне, 1999.

2. Таль К. Э., Чистяков Е. А. Экспериментальное исследование несущей способности гибких железобетонных стержней при продольно-поперечной нагрузке // Влияние скорости нагружения, гибкости и крутящих моментов на прочность железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1970. – С.98-110.

Отримано 20.01.2000

© Різак В. В., 2000